Economic Analysis

Research Paper Series

Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework

by Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith

No. 007

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

ECONOMIC ANALYSIS RESEARCH PAPER SERIES

The Economic Analysis Research Paper Series provides for the circulation of research conducted by the staff of National Accounts and Analytical Studies, visiting Fellows and academic associates. The research paper series is meant to stimulate discussion on a range of topics including the impact of the New Economy, productivity issues, firm profitability, technology usage, the effect of financing on firm growth, depreciation functions, the use of satellite accounts, savings rates, leasing, firm dynamics, hedonic estimations, diversification patterns, investment patterns, the differences in the performance of small and large, or domestic and multinational firms, and purchasing power parity estimates. Readers of the series are encouraged to contact the authors with comments, criticisms and suggestions.

The primary distribution medium for the papers is the internet. These papers can be downloaded from the internet at www.statcan.ca for free. Papers in the series are distributed to Statistics Canada Regional Offices and provincial statistical focal points.

All papers in the Economic Analysis Series go through institutional and peer review to ensure that they conform to Statistics Canada's mandate as a government statistical agency and adhere to generally accepted standards of good professional practice.

The papers in the series often include results derived from multivariate analysis or other statistical techniques. It should be recognized that the results of these analyses are subject to uncertainty in the reported estimates.

The level of uncertainty will depend on several factors: the nature of the functional form used in the multivariate analysis; the type of econometric technique employed; the appropriateness of the statistical assumptions embedded in the model or technique; the comprehensiveness of the variables included in the analysis; and the accuracy of the data that are utilized.

Any interpretation of the results that are reported in these series should recognize that empirical analysis always involves some degree of uncertainty and readers should take this into account.

Publications Review Committee
Analytical Studies Branch, Statistics Canada
24th Floor, R.H. Coats Building
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
Telephone: (613) 951-1804

Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework

by

Tarek M. Harchaoui*
Dmitry Kabrelyan
Rob Smith

11F0027 No. 007
ISSN: 1703-0404
ISBN: 0-662-32819-1

Micro-Economic Analysis Division
24-B R.H. Coats Building
Ottawa, K1A 0T6
Statistics Canada
Facsimile Number: (613) 951-5403

* (613) 951-9856
Email: harctar@statcan.ca

November 1, 2002

The authors' names are listed alphabetically.

The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the opinions of Statistics Canada.

The comments made by John Baldwin, Sëan Burrows, Pierre Mercier, Joe St-Lawrence and Cassie Seaborn on earlier drafts are acknowledged with thanks.

Aussi disponible en français

103-00981/

Table of Contents

ABSTRACT ..... **IV**

EXECUTIVE SUMMARY ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. HOW IS PRODUCTIVITY CURRENTLY MEASURED? **1**

III. HOW CAN THE CONVENTIONAL PRODUCTIVITY FRAMEWORK BE EXTENDED? **3**

1. The Technology Specification: Joint-Products or Mono-Products? 3
2. Carbon Dioxide Emissions, Economic Growth and Productivity Performance 5

IV. MULTIFACTOR PRODUCTIVITY GROWTH WITH A BAD OUTPUT **7**

1. Framework 7
2. Measurement Issues 9
3. Results 10

V. CONCLUDING REMARKS **13**

APPENDIX **14**

REFERENCES **15**

Abstract

The method that Canada and other developed countries use to measure productivity growth generally ignores the pollutants that are produced by the industrial process. For example, greenhouse gas emissions, though an inevitable consequence of production processes, are excluded from the productivity accounting framework. This study proposes an extended productivity measure that takes pollutants into account. It illustrates how it can be applied using carbon dioxide emissions. The proposed experimental measure is based on the standard multifactor productivity framework adjusted for the private cost of greenhouse gas emissions. Using this measure changes the estimate of productivity growth for the business sector. The paper first examines how industries have reduced their CO_2 emissions relative to their saleable outputs over the last twenty years. This improvement is a form of efficiency gain. When this is taken into account using the new experimental methodology to estimate multifactor productivity, the estimate of productivity growth that is produced is about 17 percent higher than the conventional estimate over the period from 1981-1996.

Keywords: productivity, environment, eco-efficiency, CO_2

Executive Summary

In the industrialized world over the past century, progress has often been measured in terms of economic efficiency and growth. Adverse environmental, social and health impacts of economic change have rarely been tallied up as costs. This paper proposes an experimental productivity measure that allows for environmental effects, illustrates how it can be measured and shows the impact on the productivity performance of the Canadian business sector over the 1981-1996 period.

More specifically, the paper discusses five sets of questions:

1) How is multifactor productivity currently being measured?

   Productivity, which measures the efficiency with which firms transform inputs (capital, labour, materials and services) into products, is one of the key economic performance indicators. It is measured as the growth rate of outputs minus the rate of growth of combined inputs.

   The methodology and the data used to calculate these productivity measures have been improved recently. The measurement of labour inputs now distinguishes between categories of labour whose effect on productivity differs because of differences in educational attainment or accumulated experience. The measurement of capital input takes into account differences in the amount of services yielded by different types of equipment and structures.

   Despite this progress, conventional measures of productivity growth still ignore unpriced outputs like pollution. Processing and fabrication of commodities generates several hundred million tonnes of wastes and effluents that are discharged into the environment each year.

2) Can the existing productivity framework be amended to accommodate eco-efficiency, that is, the extent to which the economic activity is efficient in terms of its use of the environment as an input?

   Yes. An extension of the current productivity framework is proposed and implemented in this paper. The proposed experimental measure, which builds on the current productivity framework, includes as output both goods and services that are marketed as well as the pollution that businesses produce as a by-product.

   Calculating the new productivity measure requires an estimate of the cost of emissions. It is measured in this study as the private costs that have resulted from changing the level of emissions in the past.

3) What is the trend in the change of emissions relative to marketed outputs reported by Canadian industries?

A case study of the gains in environmental efficiency in several major Canadian industries is included in the paper, using greenhouse gases as an example. Over the years, many industries have reduced their emissions relative to their marketed outputs. Outputs have grown more quickly than emissions and thus the productivity with which the environment has been used (as measured by output per unit of emissions) has increased.

4) What are the sources of growth behind gains in this partial productivity indicator?

Over the 1981-1996 period, the greenhouse gases per unit of marketed output experienced a 0.9 percent decline on average, a form of efficiency gain. The change in the greenhouse gases per unit of marketed output can be decomposed into changes in two underlying components: 1) the greenhouse gases per unit of energy consumption and 2) the energy consumption per unit of marketed output. Greenhouse gases per unit of energy increased by 0.8 percent annually. This was offset by a 1.7 percent decrease in the energy per unit of marketed output.

5) Does the productivity performance record of Canadian businesses change once greenhouse gases are accounted for in the current productivity framework?

Yes. The revised methodology takes into account a source of productivity growth that the conventional methodology misses: a more rapid growth in the value of total output due to a shift toward highly valued marketable products and away from negatively valued waste products. This is as important an efficiency gain as any other. In the manufacturing sector, it has been an important source of productivity improvement.

According to the conventional measurement, average productivity growth in the Canadian industries studied here increased from 1981 through 1996 at an annual average rate of 0.77 percent per year. After taking account of the increase in the output per unit of greenhouse gas emissions, the revised record shows that productivity grew at 0.90 percent per year—a 17 percent increase over the conventional measure.

I. Introduction

Productivity—the efficiency with which the economy transforms inputs into outputs—is important because it largely determines real incomes. Canadian living standards are high not only because workers have more equipment and resources to work with, but also because Canadian businesses have learned to use labour and other resources more efficiently.

Productivity can be measured in different ways: labour productivity measures output per hour worked; multifactor productivity—a broader indicator—measures the productive efficiency of labour, capital, and other inputs that are used in combination one with another. Either way, productivity measures provide a key indicator of the progress that businesses have made with regards to technological and organizational efficiency.

Over time, the productivity growth rate determines how fast real incomes can rise. If the availability of goods and services were limited entirely by the gradual increase in the labour force and capital stock, then Canadian living standards today would not be as high as they are. For example, from 1961 through 1999, Canadian agricultural output rose at an average annual rate of 3.7 percent, though overall input use actually declined (-0.02% for capital input and -1.5% for labour input). Rapid productivity gains made the difference.

Measures of productivity tell us how much more rapidly output is growing than the resources that are applied to the production process. Normally these measures take account only of marketed goods and services. They do not consider pollutants that are produced alongside goods that are sold to consumers and producers. In this paper, we take a first step to overcome this deficiency.

II. How is Productivity Currently Measured?

Until 1987, Statistics Canada focused only on labour productivity and measured it as output per employee.[1] More recently, it recognized the increasing importance of part-time work and moved to make use of the number of hours worked rather than just number of workers.

A measure of labour productivity reflects not only changes in technology and the reallocation of labour to higher-valued industries, but also changes in the availability of capital per hour—a result of capital accumulation. Labour productivity takes into account the efficiency with which only one factor of production (labour) is transformed into output. As such, it is referred to as a 'partial' productivity measure. Other such 'partial' measures can be constructed—output per unit of capital, output per unit of materials used, or output per unit of energy consumed. Each of these captures the extent to which the production process is becoming more efficient in terms of its use of that particular factor.

[1] For an overview of Statistics Canada's productivity program, see Harchaoui *et al.* (2001).

In order to jointly consider all inputs together, Statistics Canada has followed the recommendation of economists and introduced a broader measure. Known as a multifactor productivity measure, it is meant to capture the efficiency with which several inputs are used—capital and materials as well as labour. The growth in multifactor productivity is defined as the difference in the rate of growth of output minus the rate of growth of a weighted sum of all inputs. A multifactor productivity growth measure captures the increase in output beyond that explained by mere increases in inputs. This increase is attributable to technological and organizational advance.

Much time and energy has been devoted to improving the methodology and the data used to calculate these productivity indicators. The measurement of labour input has been modified to distinguish between categories of labour whose effect on productivity differs because of educational attainment or accumulated experience (see Gu *et al.* 2002). The measurement of capital input has been revisited to take account of differences in the composition of capital in terms of various categories (see Harchaoui and Tarkhani 2002). Finally, the measurement of output has been improved by distinguishing quality improvements from quantitative increases in the output of goods and services.

The conventional measures of productivity growth consider only outputs and inputs that are priced in markets. They ignore non-priced outputs such as greenhouse gases. The remainder of this paper explains how this omission affects estimates of the productivity performance of the business sector. The paper then proposes an experimental framework for broadening multifactor productivity to a 'multi-resources' productivity measure, an indicator useful for studies of sustainable development. The proposed framework, which is analogous to the concept of total resource productivity recently suggested by Gollop and Swinand (2001), is merely the standard multifactor productivity framework adjusted for the environmental impacts of emissions of bad outputs. Our results, based on Canadian business sector data over the 1981-1996 period, indicate that ignoring environmental effects can introduce a downward bias to the standard measure of productivity performance. The new experimental estimates presented in this paper are higher than the conventional ones that exclude greenhouse gas emissions.[2]

[2] This is also what Gollop and Swinand (2001) found in their study of the US agricultural sector during the 1973-1993 period.

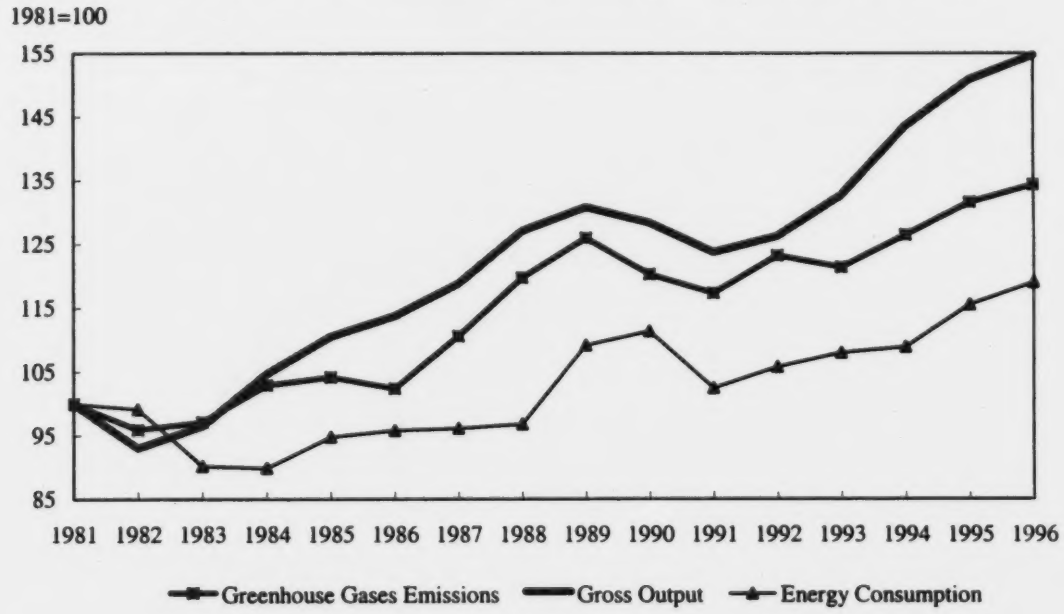
III. How Can the Conventional Productivity Framework be Extended?

1. The Technology Specification: Joint-Products or Mono-Products?

The conventional productivity measure only imperfectly captures industrial processes. Industries transform material and energy inputs into marketed outputs. These transformations conform to physical laws, including the conservation of matter and energy, which dictates that all the raw materials drawn into an industrial process re-emerge in some form. An industrial engineer can lay out a materials and energy balance for any industrial process, showing that all the inputs go somewhere, some to product and some to waste streams.

For example, a typical 500-megawatt coal-fired power station produces not only 3.5 billion kilowatt hours of electricity per year—the measured 'output'—but also 5,000 tonnes of sulphur oxides, 10,000 tonnes of nitrogen oxides, 500 tonnes of particulate matter, 225 pounds of arsenic, 4.1 pounds of cadmium, and 114 pounds of lead, as well as trace amounts of other minerals embedded in the coal. All the 1.5 million tonnes of coal burned each year in the power station end up as ashes, emissions, and other waste products, including more than a million tonnes of carbon, virtually all of which is emitted as carbon dioxide. The plant also generates a good deal of waste heat, which is usually dispersed in cooling waters.

Figure 1. Growth Pattern of Greenhouse Gases, Energy Consumption and Output



Processing and fabrication of commodities generates several hundred million tonnes of wastes and effluents that are discharged into the environment. Ignoring greenhouse gases is by no means a trivial omission. In 1996, to produce nearly $ 480 million of output, the Canadian business sector generated 386 million tonnes of greenhouse gases.[3] With an average annual growth of 2 percent over the 1981-1996 period, the Canadian business sector production of greenhouse gases tracks closely the pattern of economic growth and energy consumption, which experienced, respectively, 3 percent and 1.2 percent increases over the same period (Figure 1).

Energy consumption in the form of fossil fuel combustion is the largest single contributor to greenhouse gas emissions in Canada and the world (70.2 percent in 1996).[4] In 1996, the largest sources of energy consumption in the Canadian business sector were natural gas (32 percent), followed far behind by electricity (19 percent) and diesel fuel (11 percent). The last fifteen years witnessed a major shift in energy generation sources away from oil and heavy fuels toward natural gas, mainly as a result of a number of factors, including availability, favourable pricing and potential for increased efficiency (Figure 2). Generally, greenhouse gases discharged from natural-gas-fired generators are less than those from oil-fired generators; therefore, the shift in fuel sources caused a reduction in combustion emissions intensity over the period.

In the short term, year-to-year changes in energy consumption and carbon dioxide emissions tend to be dominated by weather, economic fluctuations, and movements in energy prices. Over longer time spans, changes in energy consumption and emissions are influenced by other factors such as energy consumers' choice of fuels, appliances, and capital equipment (e.g., vehicles, aircraft, and industrial plant and equipment). Changes in the efficiency of energy consumption happen gradually because the energy-consuming capital stock of the Canadian business sector—cars and trucks, airplanes, heating and cooling plants in businesses, steel mills, aluminum smelters, cement plants, and petroleum refineries—changes slowly from one year to another, because capital stock is retired only as it begins to break down or becomes obsolete.

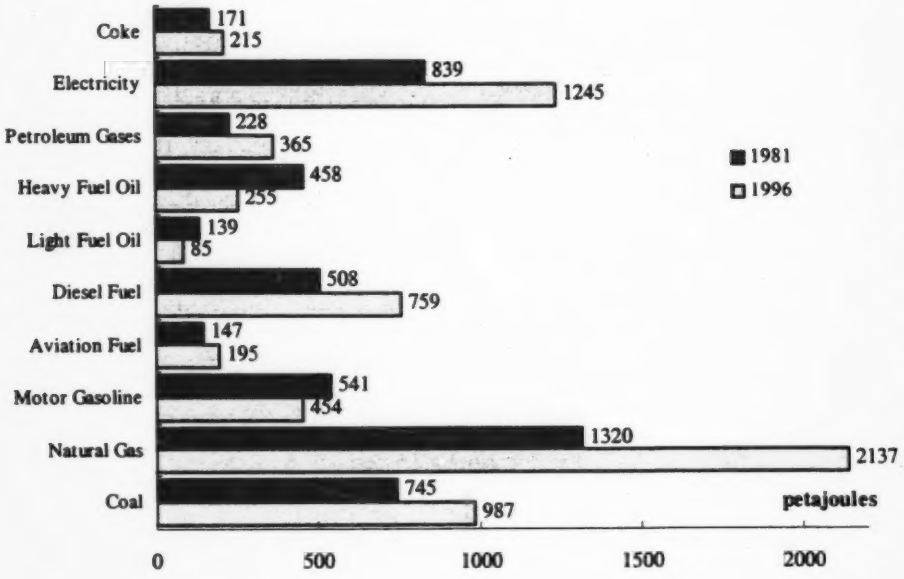
Over the last fifteen years, energy consumption, like emissions, has grown relatively slowly, with year-to-year fluctuations in the growth rate of energy consumption largely caused by the business cycle and the weather.

---

[3] The concept of business sector used in this paper is narrower than the one traditionally used by the productivity program of Statistics Canada. The following industries have been excluded from the usual definition of business sector: finance and real estate, insurance, business service, educational service, health and social service, accommodation and food services, amusement and recreational services, personal and household service, other services.

[4] Other greenhouse gas emissions include carbon dioxide from non-combustion sources (industrial processes, agriculture and waste incineration), methane, nitrous oxide, and other gases. A major part of methane emissions and nitrous oxide emissions are caused by the biological decomposition of various waste streams and fertilizers, fugitive emissions from chemical processes, fossil fuel production, agriculture and many smaller sources. The focus of the present paper is on the greenhouse gases that result from energy consumption.

Figure 2. Trends in Energy Consumption by Fuel Type



2. *Carbon Dioxide Emissions, Economic Growth and Productivity Performance*

The previous section stressed the intimate connection between CO_2 emissions and energy consumption. The present section seeks to measure the extent to which the CO_2-to-energy consumption ratio $\frac{B}{E}$ (B stands for bad output, CO_2 emissions in our context), along with the energy intensity of output $\frac{E}{Y}$ (E,Y represent, respectively, real energy consumption and real gross output), contribute to the growth of the CO_2 emissions-to-output ratio $\frac{B}{Y}$ (see appendix).

The proposed framework suggests that the change in $\frac{B}{Y}$, the carbon intensity of output, can come about in various ways, which can be consolidated into two key elements, that is $\frac{B}{E}$ and $\frac{E}{Y}$. The latter may be further decomposed into two elements, energy per unit of all inputs $\frac{E}{Z}$ and the ratio of all inputs per unit of output $\frac{Z}{Y}$, or the inverse of multifactor productivity

$$\frac{B}{Y} = \frac{B}{E} \times \frac{E}{Z} \times \frac{Z}{Y}. \qquad (1)$$

The $\frac{B}{Y}$ ratio captures the relationship between CO_2 emissions and economic growth. It may also be used to ascertain the validity of the so-called 'environmental Kuznets curve' (EKC) at the industry level. The environmental Kuznets curve[5] hypothesis proposes that there is an inverted U-shape relation between various indicators of environmental degradation and income.[6] This has

[5] Kuznets (1955, 1963) actually examined the relationship between the degree of income inequality and the level of income.

[6] Grossman and Krueger (1995) is a pathbreaking study on the estimation of the EKC and its global implications.

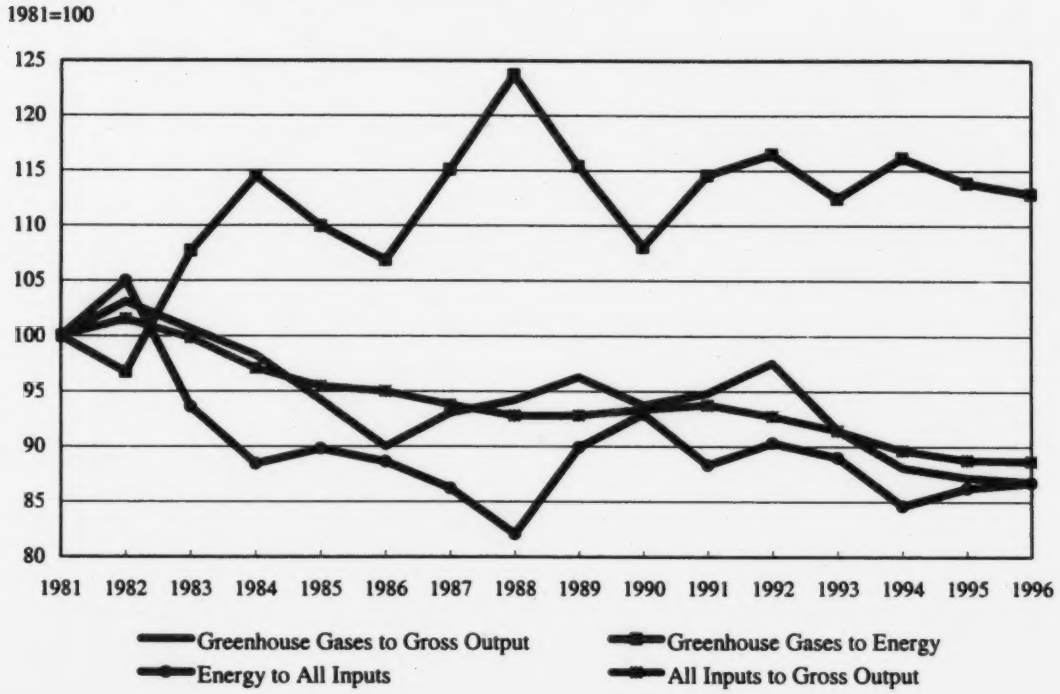
been taken to imply that economic growth may eventually redress the environmental impacts of the early stages of economic development and that growth will lead to further environmental improvements. Far from being a threat to the environment in the long-term, as argued in *The Limits to Growth* and *Beyond the Limits* by Meadows *et al.* (1972, 1992) among others, economic growth is seen to be necessary in order for environmental quality to be maintained or improved. This is an essential part of the sustainable development argument as put forward in *Our Common Future* by WCED (1987). The EKC literature has examined empirical data to evaluate the latter argument.

The EKC theme was promoted by the World Bank's *World Development Report 1992* (IBRD 1992). The authors noted that: 'The view that greater economic activity inevitably hurts the environment is based on static assumptions about technology, tastes and environmental investments'(p. 38) and that 'As incomes rise, the demand for improvements in environmental quality will increase, as will the resources available for investment' (p. 39). Some have expounded this position even more forcefully: 'there is clear evidence that, although economic growth usually leads to environmental degradation in the early stages of the process, in the end the best—and probably the only—way to attain a decent environment in most countries is to become rich.' (Beckerman 1992)

Equation (1) suggests that the carbon intensity of output $\frac{B}{Y}$ can change either because of improved technology, because of shifts in the composition of output, or because of shifts in the input mix. It is important to separate these two latter effects.

Over the 1981-1996 period, the $\frac{B}{Y}$ ratio declined by 0.9 percent annually on average (energy and output are measured in constant prices) (Figure 3). The term $\frac{B}{E}$, which spotlights the effect of a changing mix of energy types consumed in terms of carbon emissions, increased over the same period by almost 0.81 percent on average. The second factor that may help explain the pattern of the $\frac{B}{Y}$ ratio is the energy intensity of output $\frac{E}{Y}$, an indicator of the extent to which business uses energy efficiently. One way in which economic growth *per se* may contribute to reduced emissions is through shifts in the composition of economic activity, for example, from natural resources to manufacturing and, subsequently, to services. Economic growth may also generate environmental benefits through the development and adoption of a new technology, which can result in improved energy efficiency and 'cleaner' methods of production. Over the same period, Canadian businesses recorded a drop of the energy to output ratio $\frac{E}{Y}$ of about 1.74 percent on average. This downward trend is the result of the decline in both the energy intensity of all inputs $\frac{E}{I}$ (-0.95 percent) and the inputs intensity of output $\frac{I}{Y}$, or the inverse of multifactor productivity (-0.80 percent).

Figure 3. Carbon Intensity of Output and its Sources of Growth



Note: Carbon intensity is the ratio of greenhouse gases to real output

IV. Multifactor Productivity Growth with a Bad Output

1. Framework

The conventional productivity framework that is used to measure the productivity performance of the business sector ignores an entire class of less desirable outputs, those that are a nuisance to society and therefore unmarketable. The result is an incomplete indicator of efficiency. This section provides an attempt to account for greenhouse gases in the standard multifactor productivity (MFP) framework defined as

$$\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} - \left[s_K \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + s_L \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} + s_E \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} + s_M \frac{\dot{M}(t)}{M(t)} + s_S \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} \right], \tag{2}$$

where $Y(t)$, $K(t)$, $L(t)$, $M(t)$, $E(t)$ and $S(t)$ represent output, capital, labour, material, energy and services inputs, respectively. The symbol « $\cdot$ » over each variable represents rates of change with respect to time. In other words, the rate of productivity change is defined as the difference between the growth rate of the output index and the growth rate of the input index. In turn, the input index is derived by weighting each factor of production by the proportional change in output that results from a small change in that input alone (technically, the output elasticity).

These weights are denoted by s_i $(i = K,L,E,M,S)$. If there is perfect competition in both the input factor markets and the output markets and there are constant returns to scale, these weights are equal to the shares of the individual factors in total costs and, consequently, add up to one.

The conventional methodology used to derive the multifactor productivity index can be extended in a straightforward way to take account of environmental damage from greenhouse gases. Emissions are joint outputs of the industrial process and can be included in the output index with weights determined by their marginal costs.

Environmental residuals can be incorporated into the framework by defining total output, Q, as the aggregation of marketed output, Y, and emissions, B. Total output exhibits a rate of growth equal to:

$$\frac{\dot{Q}(t)}{Q(t)} = s_Y \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} + s_B \frac{\dot{B}(t)}{B(t)}. \tag{3}$$

According to this formula, the rate of change of total output is equal to a weighted average of the growth of output and the growth of emissions. The weights are equal to the shares of output and emissions in the total value of output. Of course, since emissions are damaging, they have a negative value rather than a benefit and so are expected to have negative shadow prices. Qualitatively, their impact on productivity is the same as that of input costs.

If MFP' is defined as the productivity index for the joint output function, Q, then the growth rate of MFP' is:

$$\begin{aligned} & s_Y \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} + s_B \frac{\dot{B}(t)}{B(t)} \\ & -\left[s_K \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + s_L \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} + s_E \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} + s_M \frac{\dot{M}(t)}{M(t)} + s_S \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} \right]. \end{aligned} \tag{4}$$

Comparing (2) with (4) gives:

$$MFP + s_B \left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} \right] \tag{5}$$

where:

s_B = the weight of emissions in total output;

$\dot{B}$ = the change in emissions;

B = the level of emissions;

$\dot{Y}$ = the change in the marketed output;

Y = the level of marketed output.

Equation (5) resembles the total resource productivity measure proposed by Gollop and Swinand (2001). Their proposed measure equals the growth of marketable output in an industry, less the cost-share weighted growth of inputs (capital, labour and materials), plus the weighted growth in the product's environmental quality. Similarly, our framework shows how the conventional productivity measure (2) and the proposed measured adjusted for environmental effects (5) are related. Because s_B is negative, whenever emissions grow more slowly than output, the new productivity index will increase more rapidly than the conventional index. Furthermore, if output increases or stays constant, any decline in emissions will lead to a faster rate of productivity growth than that measured by the conventional index. Should emissions increase more rapidly than marketed outputs, however, the conventional index will overstate the productivity growth rate.

This revised methodology takes into account a potential source of productivity growth that the conventional methodology misses: a more rapid growth in the value of total output due to a shift toward highly valued marketable products and away from negatively valued waste products. This is as valid and potentially important an efficiency gain as any other. In some industries, as the next sections demonstrate, it has been an important source of improvement in productivity performance.

2. *Measurement Issues*

Calculating the new productivity measure requires an estimate of s_B, the share of emissions in total gross output. To obtain this share, we need to estimate the implicit price of emissions. This is estimated here as the derivative of the total private cost of production with respect to emissions. The following specification of the cost function has been estimated : $G(Y,B,w,D,t)$ is a private total cost function, where Y is the output; B is the "bad" output or emissions; w is a vector of input prices (labour, L; capital, K; energy, E; materials and services, M); D is a vector of dummy variables corresponding to fixed effects for each industry; and t is a time trend. In order to be consistent with the conventional productivity framework, the assumption of constant returns to scale was imposed on the estimation procedure.[7]

The variable B is included in the cost function because pollutants (bad outputs) are produced jointly with Y, or, conversely, because the environment is used as an input by producers when they release emissions into the atmosphere. Production of the bad output allows more marketable or good outputs Y to be produced from a given combination of paid inputs, or, alternatively, using emissions as an input allows the production of a given amount of Y at lower paid input costs.

The associated private shadow values s_B of the bad output, i.e. the (input) cost saving from allowing emissions, may be measured as the cost effects $\frac{\partial lnTC}{\partial lnB} = s_B$ (TC refers to the total private production cost). These shadow values of greenhouse gases, measured as the cost effects

[7] In a related paper (see Harchaoui and Lasserre, 2002), this assumption was not imposed and the impact on the productivity estimates after accounting for greenhouse gases was slightly higher (21% as opposed to the 17% reported here).

$\frac{\partial \ln TC}{\partial \ln B} = s_B$, reflect the marginal amount the producer incurs as it reduces B. We expect that $s_B < 0$. In our framework, s_B should thus be interpreted as the *private* value to producers, since it represents the amount that expenditure on other inputs would have to increase (at a given output level) if environmental emissions are to be reduced.

Measuring the shadow values of greenhouse gases and their link to the demand for other inputs and other components of the production structure was based on the estimation of a translog specification of $G(Y,B,w,D,t)$. This estimation is performed using a rich industry-level panel data set from Statistics Canada's productivity and environment programs with a multi-input and multi-output base. The dataset, based on 37 industries for the period 1981-1996, covers the primary sector, the manufacturing sector, the non-financial services sector and utility industries. We also derived the estimates for these sectors taken together by aggregating data across industries using industries output shares to reflect the industry composition and its change over time. We found the shadow values of greenhouse gases to be significant and larger for mineral industries and industries known as energy intensive.

3. *Results*

The results, reported in Table 1, show that taking into account pollutants (at least CO_2 emissions) is important. The adjustment factor, $s_B\left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right]$ is non trivial. This adjustment comprises a price and quantity effect, which may or may not have the same direction. The price effect s_B is expected to be negative. The estimates for four of the 5 major sectors considered in this study (primary, manufacturing, transportation, utility and other industries), accounting for the bulk of greenhouse gases, display the expected negative implicit price (s_B) of greenhouse gases—albeit not significant for transportation and manufacturing sectors. The utility sector, another major producer of greenhouse gases, is the only one that shows a positive and significant implicit price.[8] The estimate of the implicit price for the business sector of -0.14, as a weighted average of the individual sectors, is also statistically significant (at a five percent level). The primary sector shows the highest value (in absolute terms) of the implicit price (-0.89 significant at less than the 1 percent level), followed far behind by a group of other industries composed of construction, trade industries, communication and storage (-0.03 significant at 5 percent).

The quantity effect $\left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right]$, measured by the gap in terms of the average annual growth rate between the bad and the good outputs over the 1981-1996 period, could be either positive or negative. A negative value indicates that pollutant growth has been slower than output growth—that the efficiency of the industrial system has been improving. The gap of -0.98 percentage points shown by the business sector is mainly attributable to the manufacturing sector (-2.98 percentage points), followed by other industries (-1.06 percentage points) and utilities (-0.56

[8] This aberration is probably due to the regulated nature of the utility sector, a feature that our present cost function does take into account. However, the exclusion of utility sector from our data set does not alter our aggregate estimates of productivity in any significant way.

percent). In contrast, transportation and primary sectors are the only ones that display a positive quantity effect (respectively, 1.07 and .09 percentage points).

Table1: Productivity Performance with and without Bad Output, 1981-1996

	$\dot{Y}$	s_Y	t-statistic for s_Y	$\dot{B}$	s_B	t-statistic for s_B	*MFP*	*MFP'*
Primary	2.61	1.13	7.70	2.70	-0.89	3.44	1.60	1.52
Manufacturing	3.22	0.99	16.01	0.23	-0.03	1.39	0.68	0.78
Transportation	2.75	0.97	7.89	3.82	-0.03	0.73	1.13	1.10
Utility	2.66	0.94	9.15	2.10	0.17	5.32	0.11	0.01
Other	2.71	1.06	21.77	1.70	-0.03	1.93	0.55	0.57
Business Sector	2.95	1.03	16.01	1.98	-0.14	2.80	0.77	0.90

Notes: $\dot{Y}$ = average annual growth rate of the good output; $\dot{B}$ = average annual growth rate of the CO_2 emissions (the bad output); s_Y and s_B represent, respectively, the implicit prices of the good and bad outputs derived from the estimation of a long-run cost function; *MFP* =conventional multifactor productivity growth rate (based on only the good output); *MFP'* =alternative multifactor productivity growth rate (based on the good and bad outputs). These sectoral figures are obtained from the aggregation of 37 industry estimates using the chain Fisher index where the weights are defined in terms of nominal gross output.

The combination of negative price and quantity effects for a sector produces a positive effect on measured productivity growth. This is particularly the case for manufacturing (and to a lesser extent for other industries), where the average annual growth rate of multifactor productivity over the 1981-1996 period is now .78 percent, compared to .68 percent under the conventional framework—an increase of 15%. In other instances, where the quantity effect is positive, like for primary industries, the average productivity growth declined—1.52 percent, down from 1.60 percent without emissions. Overall, however, our results indicate that failing to account for emissions underestimates the productivity performance of the business sector by 0.13 percentage points over the 1981-1996 period—a difference of 17 percent.

Although based on a different approach applied to a different environmental problem, our conclusion is similar to the one reached by Gollop and Swinand (2001). Their results show that total resource productivity has grown faster than the conventional total factor productivity over all periods, except the 1972-79 period. In Gollop and Swinand (2001), the rapid growth of total resource productivity is due to the decline in water pollution from pesticide use since 1979. This is somewhat similar to our finding on the negative growth rate gap between the bad and good outputs.

V. Concluding Remarks

This paper has shown that pollutants can be reflected in the productivity performance indicator with only minor changes to the standard productivity framework. But before this is done, several obstacles need to be overcome.

The first challenge is one of obtaining acceptable, reliable implicit prices that can be attached to emissions. Waste products emitted to the environment, unlike saleable outputs, are not exchanged in markets and, therefore, do not have market prices. As Schelling (1992) remarked, 'The worst things in life are free.'

Undeniably, the fact that emissions lack market prices makes estimating their incremental cost to the economy difficult. But as we have shown here, it is not impossible. Nevertheless, it must be recognized that the estimates reported here are just that—estimates. They are derived from the specification of a cost function that rarely captures all of the complexity of the industrial process. The validity of the estimates also depends upon other factors, such as the reliability of the statistical techniques used and the accuracy of the data employed. While we have employed the best data available and statistical techniques that are state-of-the-art, we recognize that we are not at the point where we can definitively say that the estimated shadow prices are as accurate as we would like.

The second challenge behind the construction of more comprehensive productivity accounts is the development of a comprehensive database on pollutants using the Input-Output tables framework. Preparing and maintaining a revised record of productivity growth requires an adequate information base. Statistics Canada has made great strides in developing environmental databases, using them for economic analysis and making them publicly available. This paper is a first step in using an experimental methodology to account for the impact of greenhouse gases on productivity growth. As a by-product, it also produces the shadow price of greenhouse gases, a measure of the private cost businesses have incurred as they have reduced CO_2 emissions. Credible estimates of implicit environmental prices may be useful not only for productivity measurement, but also for priority setting in environmental policy, regulatory analysis, and other purposes.

Individual companies are keenly interested in their own productivity records, and, companies in environmentally sensitive industries are searching for performance metrics and indicators that can adequately reflect their individual progress toward 'eco-efficiency'. The methodology outlined here can readily be adapted for this purpose. It measures efficiency gains in the use of conventional inputs—capital and labour as well as raw materials and intermediate inputs. In addition, it measures progress in reducing emissions and effluents. Estimates of damage costs would have to be particularized to each company's own sites and the composition of its waste streams. This would provide environmental managers with information useful in priority setting. Environmentally progressive companies, that begin tracking their own productivity improvements using this basic methodology, will be better able to integrate their environmental- and business-management practices.

Appendix

Output per Unit of Greenhouse Gases, Average Annual Growth Rate (Percentage)

	1981-1996	1981-1988	1988-1996
Agricultural and related service	3.2	-0.9	6.9
Fishing and trapping	1.7	5.2	-1.3
Logging and forestry	0.3	2.8	-1.9
Mining	2.3	4.1	0.7
Crude petroleum and natural gas	-0.5	-3.3	2.1
Quarry and sand pit	2.0	8.9	-3.6
Services incidental to mineral extraction	6.0	3.8	8.0
Food	1.0	0.7	1.3
Beverage	4.0	5.6	2.7
Tobacco products	1.3	0.7	1.8
Rubber products	6.2	3.0	9.1
Plastic products	3.2	1.0	5.1
Leather and allied products	0.6	-1.2	2.1
Primary textile	4.7	7.8	2.1
Textile products	-1.0	-5.6	3.3
Clothing	3.7	-2.4	9.4
Wood	0.9	5.0	-2.6
Furniture and fixture	0.1	-3.4	3.3
Paper and allied products	2.7	7.6	-1.4
Printing, publishing and allied	-2.1	-4.6	0.2
Primary metal	2.8	2.7	2.9
Fabricated metal products	-0.4	-2.5	1.5
Machinery (except electrical mach)	1.8	-1.9	5.1
Transportation equipment	4.3	2.7	5.7
Electrical and electronic products	11.7	8.1	14.9
Non-metallic mineral products	-0.2	2.0	-2.0
Refined petroleum and coal products	-1.4	-1.9	-1.0
Chemical and chemical products	2.0	1.4	2.5
Other manufacturing	2.7	-2.3	7.3
Construction	1.0	4.8	-2.2
Transportation	-0.0	0.9	-0.8
Pipeline transport	-1.8	-1.4	-2.2
Storage and warehousing	2.9	-4.1	9.5
Communication	-0.7	5.6	-5.9
Other utility	0.6	-0.9	1.8
Wholesale trade	2.1	7.7	-2.7
Retail trade	1.6	4.9	-1.2
Finance and real estate	0.8	-0.3	1.8
Insurance	4.8	10.2	0.3
Business service	5.0	2.6	7.1
Educational service	2.7	-3.3	8.3
Health and social service	3.4	3.7	3.1
Accommodation and food services	5.2	5.0	5.5
Amusement and recreational service	-2.2	3.5	-7.0
Personal and household service	5.1	5.0	5.1
Other service	0.4	1.7	-0.8
Business Sector (Weighted Average)	1.9	2.3	2.0

References

Beckerman, W. 1992. "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?" *World Development* 20: 481-96.

Gollop, F. and G. Swinand. 2001. "Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality," in E. Dean, M. Harper and C. Hulten, (eds.); *New Directions in Productivity Analysis*, Conference on Research in Income and Wealth.

Grossman, G.M. and A.B. Krueger. 1995. "Economic Growth and the Environment" *Quarterly Journal of Economics* 112: 353-378.

Gu, W., M. Kaci, J.-P. Maynard and M.-A. Sillamaa. 2002. "*The Changing Composition of the Canadian Workforce and Its Impact on Productivity*", in Baldwin, J.R. and T.M. Harchaoui: *Productivity Growth in Canada*, 2002, Catalogue No. 15-204-XPE. Microeconomic Analysis Division, Statistics Canada. Forthcoming.

Harchaoui, T.M. and P. Lasserre. 2002. "Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth 1981-1996, An Experimental Approach." *Economic Analysis Series No. 9*. Ottawa: Analytical Studies Branch, Statistics Canada.

Harchaoui, T.M., M. Kaci and J.-P. Maynard. 2001. "The Statistics Canada's Productivity Program: Concepts and Methods", in Baldwin, J.R. *et al.*: *Productivity Growth in Canada*, pp. 143-176, Statistics Canada, Catalogue No. 15-204-XPE.

Harchaoui, T.M. and F. Tarkhani. 2002. "*A Comprehensive Revision of the Capital Input Methodology for Statistics Canada's Multifactor Productivity Program*," in Baldwin, J.R. and T.M. Harchaoui: *Productivity Growth in Canada*, 2002, Catalogue No. 15-204-XPE. Microeconomic Analysis Division, Statistics Canada. Forthcoming.

IBRD, *World Development Report.* 1992. *Development and the Environment* New York, Oxford University Press, 1992.

Kuznets, S. 1955. "Economic Growth and Income Inequality," *American Economic Review* 49: 1-28.

Kuznets, S. 1963. "Quantitative Aspects of the Economic Growth of Nations, VIII: The Distribution of Income by Size," *Economic Development and Cultural Change*: 11, 1-92.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers. 1992. *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*, Earthscan, London.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers and W. Behrens. 1972. *The Limits to Growth*, Universe Books, New York.

Schelling, T.C. 1992. "Some Economics of Global Warming." *American Economic Review* 82: 1-14.

WCED 1987. *Our Common Future.* Oxford University Press, Oxford.

ECONOMIC ANALYSIS (EA)
RESEARCH PAPER SERIES

No. 001 *A Comparison of Canada-U.S. Economic Growth in the Information Age, 1981-2000: The Importance of Investment in Information and Communication Technologies*, Philip Armstrong, **Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson and Faouzi Tarkhani (March 1, 2002)**

No. 002 *Purchasing Power Parity: A Canada/U.S. Exploration*, **Beiling Yan (May 2002)**

No. 003 *The Trend to Smaller Producers in Manufacturing: A Canada/U.S. Comparison*, **John Baldwin, Ron S. Jarmin, Jianmin Tang (May 2002)**

No. 004 *Foreign Affiliate Trade Statistics – 1999: How Goods and Services are Delivered in International Markets*, **Colleen Cardillo (April 2002)**

No. 005 *Regional Manufacturing Employment Volatility in Canada: The Effects of Specialization and Trade*, **John R. Baldwin and W.Mark Brown** *(forthcoming)*

No. 006 *Growth History, Knowledge Intensity and Capital Structure in Small Firms*, **Guy Gellatly, Allan Riding and Stewart Thornhill** *(forthcoming)*

No. 007 *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework*, **Tarek Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith (November 1, 2002)**

No. 008 *Overcoming Distance, Overcoming Borders: Comparing North American Regional Trade*, **W.Mark Brown** *(forthcoming)*

No. 009 *Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Expermental Approach*, **Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre (November 1, 2002)**

Analyse Économique

Documents de recherche

Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité

par Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan et Rob Smith

N° 007

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE RECHERCHE SUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du Secteur des études analytiques et des comptes nationaux, les boursiers invités et les universitaires associés. La série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises ou des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires, critiques et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. Ils peuvent être téléchargés gratuitement sur Internet, à www.statcan.ca. Les documents faisant partie de la série sont diffusés dans les bureaux régionaux de Statistique Canada et aux coordonnateurs statistiques provinciaux.

Tous les documents de recherche de la Série d'analyse économique, passent à travers un processus d'évaluation des pairs et institutionnel, afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats issus d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut l'admettre, les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs, notamment : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées.

Toute interprétation des résultats reproduits à l'intérieur des travaux de cette série doit reconnaître le fait que l'analyse empirique comprend un certain niveau d'incertitude que les lecteurs devraient prendre en compte.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
24e étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-1804

Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité

par

Tarek M. Harchaoui*
Dmitry Kabrelyan
Rob Smith

11F0027 N° 007
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-87746-2

Division de l'analyse micro-économique
24ième étage, Immeuble R.H. Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur: (613) 951-5403

* (613) 951-9856
Courriel: harctar@statcan.ca

1 novembre 2002

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Ce document reflète les opinions des auteurs uniquement et non celles de Statistique Canada.

Nous tenons à remercier John Baldwin, Sëan Burrows, Pierre Mercier, Joe St. Lawrence et Cassie Seaborn de leurs commentaires fort utiles sur les ébauches antérieures.

Also available in English

Table des matières

RÉSUMÉ ..... **IV**

SOMMAIRE ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. COMMENT LA PRODUCTIVITÉ EST-ELLE MESURÉE ACTUELLEMENT? **1**

III. COMMENT LE CADRE CONVENTIONNEL D'ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITÉ POURRA-T-IL ÊTRE ÉLARGI? **3**

1. SPÉCIFICATION TECHNOLOGIQUE : PRODUITS CONJOINTS OU MONO-PRODUITS? 3
2. ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET PRODUCTIVITÉ 5

IV. MESURER LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ MULTIFACTORIELLE EN PRÉSENCE D'UN SOUS-PRODUIT NOCIF **8**

1. CADRE 8
2. QUESTIONS DE MESURE 10
3. RÉSULTATS 11

V. CONCLUSION **12**

ANNEXE **14**

BIBLIOGRAPHIE **15**

Résumé

La méthode que le Canada et d'autres pays développés utilisent pour mesurer la croissance de la productivité ignore les polluants produits par les procédés industriels. Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre, bien qu'elles soient une conséquence inévitable des processus de production, sont exclues du cadre d'estimation de la productivité. La présente étude propose une mesure élargie de la productivité qui prend en compte les polluants. Elle illustre comment elle peut-être utilisée en faisant appel au CO_2. La mesure expérimentale proposée est fondée sur le cadre conventionnel d'estimation de la productivité multifactorielle rajusté pour tenir compte du coût privé des émissions de gaz à effet de serre. L'usage de cette mesure change les estimations de la croissance de la productivité du secteur des entreprises. L'étude examine d'abord comment les industries ont réduit leurs émissions de CO_2 relative à la production commerciale au cours des vingt dernières années. Cette amélioration est une forme de gain d'efficacité. Quand ceci est pris en compte dans le nouveau cadre d'estimation expérimental de la productivité multifactorielle, la croissance de la productivité qui en résulte est 17 pourcent plus élevée que la mesure standard pour la période 1981-1996.

Mots clés : productivité, environnement, éco-efficacité, CO_2

Sommaire

Dans le monde industrialisé, au cours du siècle dernier, le progrès a été mesuré principalement en fonction de l'efficacité et de la croissance économique. On a rarement comptabilisé les coûts des répercussions néfastes du changement économique sur les plans environnemental, social et de la santé. La présente étude propose une mesure expérimentale de la productivité qui tient compte des effets environnementaux, montre comment ils peuvent être mesurés et en indique l'incidence sur la productivité du secteur des entreprises au Canada au cours de la période 1981 à 1996.

Plus particulièrement, l'étude porte sur les cinq questions suivantes :

1) Comment la productivité multifactorielle est-elle mesurée actuellement?

   La productivité, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle l'économie transforme les intrants (capital, travail, matières et services) en produits, est l'un des indicateurs clés de la performance économique. Elle est mesurée comme étant le taux de croissance de la production moins le taux de croissance des intrants combinés.

   La méthodologie et les données utilisées pour calculer ces mesures de productivité ont été améliorées récemment. La mesure de l'intrant travail permet maintenant de faire la distinction entre les catégories de travail dont l'effet sur la productivité diffère en raison de leur niveau de scolarité ou de leur expérience. La mesure de l'intrant capital tient compte des différences dans le volume de services fournis par différents types d'équipements et de structures.

   Malgré les progrès réalisés, les mesures conventionnelles de la croissance de la productivité continuent de faire abstraction des produits pour lesquels il n'existe pas de prix, comme la pollution. La transformation et la fabrication de biens produit plusieurs centaines de millions de tonnes de déchets et d'effluents qui sont rejetés annuellement dans l'environnement.

2) Le cadre actuel d'estimation de la productivité peut-il être modifié de manière à rendre compte de l'éco-efficacité, c'est-à-dire de la mesure avec laquelle l'activité économique utilise efficacement l'environnement comme un intrant?

   Oui. Un cadre d'estimation de la productivité élargi a été proposé et on procède à sa mise en place dans cette étude. La mesure proposée expérimentale, qui se situe dans le prolongement du cadre d'estimation de la productivité actuel, comprend la production des biens et services qui sont commercialisés ainsi que la pollution qui est un sous-produit de l'activité des entreprises.

   Pour calculer la nouvelle mesure de la productivité, il faut estimer le coût des émissions, qui est déterminé dans l'étude comme les coûts privés ayant résulté du changement du niveau des émissions passées.

3) Quelle est la tendance en ce qui a trait au changement des émissions par rapport à la production commercialisée déclarée par les branches d'activité canadiennes?

Nous entreprenons une étude de cas, avec les émissions de gaz à effet de serre comme exemple, sur les gains en termes d'efficacité environnementale dans plusieurs industries canadiennes importantes. Au cours des années, plusieurs industries ont réduit leurs émissions relativement à la production commercialisée. La production a augmenté plus rapidement que les émissions et donc la productivité avec la quelle l'environnement a été utilisé (mesuré comme la production par unité d'émissions) a augmenté.

4) Quelles sont les sources de la croissance associés aux gains de cet indicateur partiel de productivité?

Au cours de la période 1981 à 1996, les émissions de gaz à effet de serre par unité de production commercialisée ont diminué de 0,9 % en moyenne, ce qui représente un gain d'efficacité. Le changement des émissions de gaz à effet de serre par unité de production commercialisée peut être décomposé en des changements de ses deux composantes 1) les émissions de gaz à effet de serre par unité d'énergie consommée et 2) l'énergie consommée par unité de production commercialisée. L'augmentation annuelle moyenne de 0,8 % d'émissions de gaz à effet de serre par unité de consommation d'énergie a été largement compensée par la baisse de 1,7 % de la consommation d'énergie par unité de production commercialisée.

5) La prise en compte des gaz à effet de serre dans le cadre actuel d'estimation de la productivité a-t-elle pour effet de modifier les données sur la productivité des entreprises canadiennes?

Oui. La méthode révisée tient compte d'une source de croissance de la productivité qui échappe totalement à la méthode conventionnelle : une croissance plus rapide de la valeur de la production totale attribuable à l'augmentation de la production qui revêt une grande valeur au détriment des déchets auxquels on attribue une valeur négative. Ce gain sur le plan de l'efficacité est aussi important que tout autre. Dans la branche de la fabrication, il a contribué sensiblement à accroître la productivité.

Selon la mesure conventionnelle, la croissance moyenne de la productivité dans l'ensemble des industries étudiées ici a augmenté de 1981 à 1996 au taux annuel moyen de 0,77 %. Cependant, selon les données révisées de manière à tenir compte de l'augmentation de la production par unité d'émission de gaz à effet de serre, la productivité a augmenté au rythme de 0,90 % par an, ce qui représente une hausse de 17 % par rapport à la mesure courante.

I. Introduction

La productivité, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle l'économie transforme les intrants en produits, est importante dans la mesure où elle détermine largement les revenus réels. Le niveau de vie au Canada est élevé non seulement parce que les travailleurs disposent de plus d'équipement et de ressources, mais aussi parce que les entreprises canadiennes ont appris à utiliser le travail et d'autres ressources efficacement.

La productivité peut être mesurée de différentes façons : la productivité du travail mesure la production par heure travaillée; la productivité multifactorielle, un indicateur plus général, mesure l'efficacité sur le plan de la production des intrants travail et capital ainsi que d'autres intrants pris dans leur ensemble. Quoi qu'il en soit, la productivité est un indicateur clé du progrès que les entreprises ont accompli en termes d'efficacité technologique et organisationnelle.

Au fil du temps, le taux de croissance de la productivité détermine la rapidité de l'accroissement des revenus réels. Si la disponibilité de biens et services était entièrement limitée par la croissance progressive du travail et du stock de capital, le niveau de vie au Canada serait moins élevé qu'il ne l'est actuellement. Par exemple, de 1961 jusqu'à la fin de 1999, la production agricole canadienne a augmenté à un taux annuel moyen de 3,7 %, alors que les intrants combinés ont diminué (-0,02 % pour l'utilisation du capital et -1,5 %pour l'utilisation du travail). La rapidité des gains de productivité réalisés à fait la différence.

Les mesures de la productivité nous indiquent dans quelle mesure la production augmente plus rapidement que les ressources utilisées dans le processus de production. Habituellement, ces mesures prennent en compte seulement les biens et services commercialisés. Ils ne considèrent pas les polluants qui sont produits conjointement avec les liens qui sont vendus aux consommateurs et producteurs. Cette étude est une première étape pour combler cette carence.

II. Comment la productivité est-elle mesurée actuellement?

Jusqu'en 1987, Statistique Canada produisait seulement les chiffres sur la productivité du travail, mesurée en termes de production par personne occupée[1]. Plus récemment, l'Agence a reconnu l'importance croissante du travail à temps partiel. De ce fait, elle a adopté l'usage des heures travaillées plutôt que le nombre d'employé(e)s.

La mesure de la productivité du travail reflète non seulement l'évolution de la technologie et la réaffectation du travail aux branches d'activité auxquelles on attribue une valeur plus élevée, mais aussi la variation du capital disponible par heure, laquelle résulte de l'accumulation du capital plutôt que de l'augmentation de l'efficacité du travail. La productivité du travail prend en compte l'efficience avec lequel un intrant (le travail) est transformé en production. Elle constitue ainsi une mesure partielle de la productivité. D'autres mesures partielles peuvent également être

[1] Pour un aperçu du programme de productivité de Statistique Canada, voir Harchaoui et coll. (2002).

construites : la production par unité de capital, la production par unité de matières et la production par unité d'énergie consommée. Chacune de ces mesures rend compte de la mesure avec laquelle le processus de production devient plus efficace en termes de l'usage particulier de cet intrant.

Pour considérer de façon conjointe tous les intrants dans leur ensemble, Statistique Canada a suivi la recommendation des économistes et adopté une mesure plus vaste. Appelée mesure de la productivité multifactorielle, elle reflète l'efficacité avec laquelle sont utilisés les intrants, soit le capital, les matières et le travail. La croissance de la productivité multifactorielle est définie comme la différence entre la croissance de la production et celle des intrants combinés. La croissance de la productivité multifactorielle, représente l'augmentation de la production autre que celle attribuable aux simples augmentations de l'utilisation des intrants. Cette augmentation est attribuable aux progrès technologiques et aux améliorations sur le plan organisationnel.

On a consacré beaucoup de temps et d'énergie à l'amélioration de la méthode et des données utilisées pour calculer ces indicateurs de la productivité. La mesure de l'intrant travail a été modifiée de manière à permettre de faire une distinction entre les catégories de travail dont l'effet sur la productivité diffère en raison de leur niveau de scolarité ou de leur expérience (voir Gu *et coll.*, 2002). La mesure de l'intrant capital a été réexaminée de manière à tenir compte de la composition du capital en différents types d'actifs (voir Harchaoui et Tarkhani, 2002). Enfin, la mesure de la production a été améliorée par la distinction faite entre les améliorations sur le plan de la qualité et les augmentations quantitatives en ce qui a trait à la production de biens et services.

Les mesures conventionnelles de la croissance de la productivité ne tiennent compte que des produits et des intrants dont le prix est déterminé sur les marchés. Ils font abstraction des produits comme les gaz à effet de serre pour lesquels il n'existe pas de prix. Dans le reste du présent document, nous expliquons comment cette omission influe sur la productivité du secteur des entreprises. Nous proposons ensuite un cadre expérimental pour étendre la mesure de la productivité multifactorielle à celle de la productivité multiressources, un indicateur utile pour des considérations de développement durable. Le cadre proposé, analogue au concept de la productivité totale des ressources suggéré récemment par Gollop et Swinand (2001), est tout simplement le cadre conventionnel d'estimation de la productivité multifactorielle rajusté pour tenir compte des effets sur l'environnement des émissions de produits nocifs. Nos résultats, fondés sur les données du secteur des entreprises au Canada pour la période de 1981 à 1996, montrent que faire abstraction des effets sur l'environnement a tendance à introduire un biais à la baisse dans l'estimation de la productivité. Les nouvelles estimations expérimentales présentées dans notre étude sont plus élevées que les estimations conventionnelles qui excluent les émissions de gaz à effet de serre[2].

[2] Gollop et Swinand (2001) ont obtenu un résultat similaire dans leur étude sur le secteur agricole américain durant la période 1973-1993.

III. Comment le cadre conventionnel d'estimation de la productivité pourra-t-il être élargi?

1. Spécification technologique : Produits conjoints ou mono-produits?

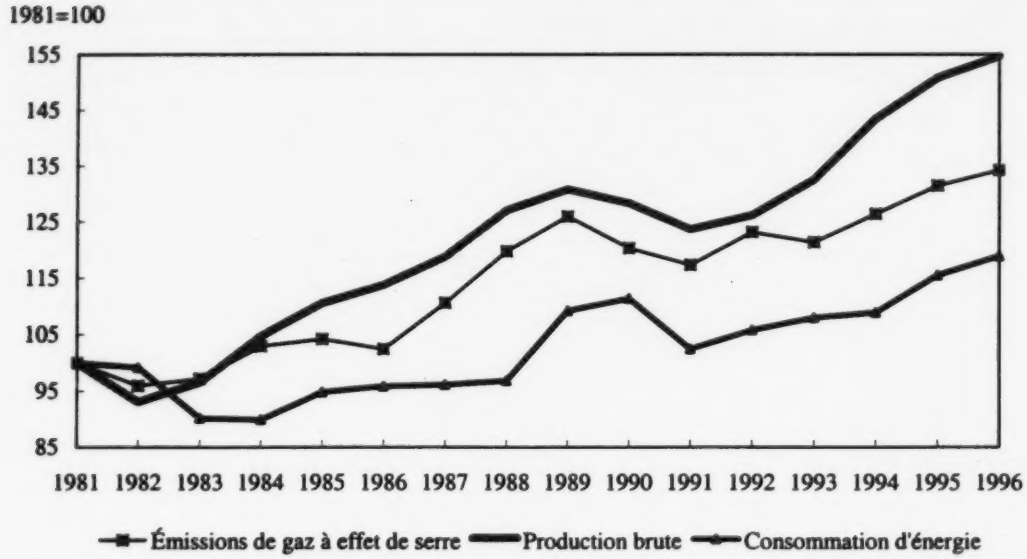
La mesure conventionnelle de la productivité repose sur une description incomplète des procédés industriels. Les industries transforment les intrants en matières premières et en énergie en produits commercialisés. Ces transformations obéissent aux lois physiques, y compris de conservation de la matière et de l'énergie, qui veulent que toutes les matières premières utilisées dans un procédé industriel ressortent sous une forme quelconque. Un ingénieur industriel peut déterminer l'utilisation des matières premières et de l'énergie dans un procédé industriel en indiquant que tous les intrants vont tous quelque part, certains dans le produit et d'autres dans le flux de déchets.

Par exemple, une centrale au charbon de 500 mégawatts typique produit annuellement non seulement 3,5 milliards de kilowatt-heures d'électricité — la « production » mesurée — mais aussi 5 000 tonnes d'oxydes de soufre, 10 000 tonnes d'oxydes d'azote, 500 tonnes de particules, 225 livres d'arsenic, 4,1 livres de cadmium et 114 livres de plomb, ainsi que des quantités infimes d'autres minéraux qui se trouvent dans le charbon. Les 1,5 million de tonnes de charbon brûlées dans l'usine chaque année pour produire de l'énergie se transforment en cendres, émissions et autres déchets, y compris plus d'un million de tonnes de carbone dont pratiquement la totalité sous forme d'émissions de dioxydes de carbone. L'usine produit aussi beaucoup d'énergie résiduelle, généralement dissipée dans de l'eau de refroidissement.

La transformation et la fabrication de biens produit plusieurs centaines de millions de tonnes de déchets et d'effluents qui sont rejetés dans l'environnement. De même, les émissions de gaz à effet de serre dont on fait abstraction ne sont pas négligeables. En 1996, pour une production de près de 480 millions de dollars, le secteur des entreprises au Canada a généré 386 millions de tonnes de gaz à effet de serre[3]. La croissance annuelle moyenne de 2 % de la production de gaz à effet de serre du secteur des entreprises au Canada durant la période de 1981 à 1996 suit de près l'allure de la croissance économique et de la consommation d'énergie qui ont enregistré, respectivement, une augmentation de 3 % et de 1,2 % durant la même période (figure 1).

[3] La définition du secteur des entreprises utilisée aux fins du présent document est plus étroite que celle employée traditionnellement pour le programme de mesure de la productivité. Les branches suivantes ont été exclues de la définition habituelle du secteur des entreprises : intermédiaires financiers et services immobiliers, assurances, services aux entreprises, services d'enseignement, services de soins de santé et services sociaux, hébergement et restauration, services de divertissements et loisirs, services personnels et domestiques, autres branches des services.

Figure 1. Évolution de la croissance des émissions de gaz à effet de serre, de la consommation de l'énergie et de la production



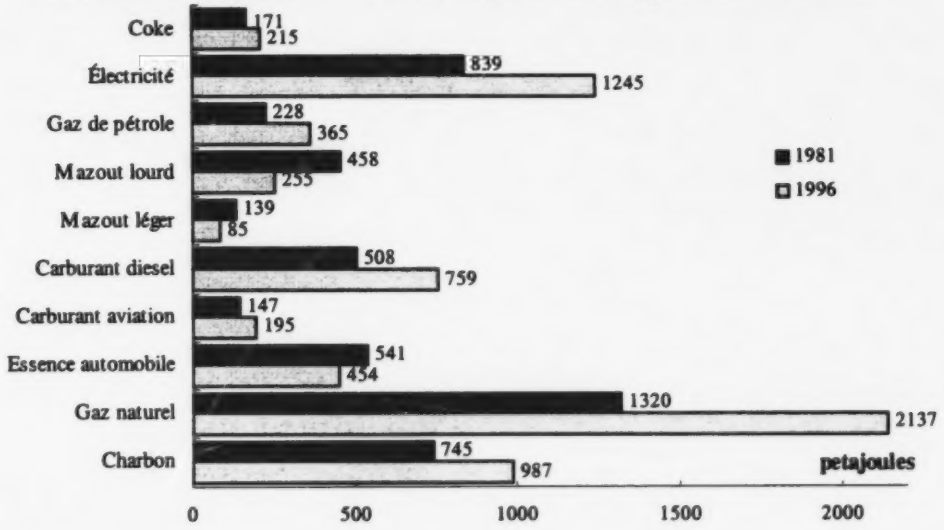
La consommation d'énergie sous forme de combustion de combustibles fossiles contribue le plus aux émissions de gaz à effet de serre au Canada et dans le monde (70,2 % en 1996)[4]. En 1996, les plus importantes sources d'énergie du secteur des entreprises au Canada étaient le gaz naturel (32 %), suivi de l'électricité (19 %) et du carburant diesel (11 %). Au cours des 15 dernières années, le pétrole et le mazout lourd ont été largement remplacés comme source d'énergie par le gaz naturel, principalement en raison d'un certain nombre de facteurs dont la disponibilité, les prix plus avantageux et la possibilité de gains sur le plan de l'efficacité (figure 2). De façon générale, les générateurs au gaz naturel émettent moins d'émissions de gaz à effet de serre que les générateurs à mazout; par conséquent, le remplacement de certaines sources d'énergie par d'autres a entraîné une réduction de l'intensité des émissions dues à la combustion.

À court terme, la variation d'une année à l'autre de la consommation d'énergie et des émissions de dioxyde de carbone tend à être attribuable principalement aux changements météorologiques, aux fluctuations économiques et aux mouvements des prix de l'énergie. À plus long terme, d'autres facteurs influent sur la consommation d'énergie et les émissions, comme les choix des consommateurs d'énergie en matière de carburant et de combustible, d'appareils ménagers et de biens d'équipement (par exemple, véhicules, aéronefs et usines et matériel d'usage industriel). Les changements dans l'efficacité de la consommation d'énergie s'opèrent graduellement car le

[4] Les autres émissions de gaz à effet de serre comprennent le dioxyde de carbone de sources autre que la combustion (procédés industriels, agriculture et incinération), le méthane, l'oxyde nitreux et d'autres gaz. Une majeure partie des émissions de méthane et d'oxyde nitreux sont causées par la décomposition biologique de divers flux de déchets et d'engrais, des émissions fugitives de procédés chimiques, de la production de combustibles fossiles, de l'agriculture et de nombreuses sources plus faibles. Le présent document porte principalement sur les émissions de gaz à effet de serre qui résultent de la consommation d'énergie.

stock de capital qui utilise l'énergie du secteur canadien des entreprises — automobiles et camions, aéronefs, installations de chauffage et de refroidissement dans les entreprises, aciéries, alumineries, cimenteries et raffineries de pétrole — évolue lentement d'une année à l'autre. Les biens d'équipement sont mis au rencart seulement lorsqu'ils commencent à tomber en panne ou deviennent désuets.

Figure 2. Évolution de la consommation d'énergie selon le type de combustible



Au cours des 15 dernières années, la consommation d'énergie, comme les émissions, a augmenté relativement lentement, les fluctuations d'une année à l'autre du taux de croissance de la consommation d'énergie étant attribuables principalement aux cycles économiques et la température.

2. Émissions de dioxyde de carbone, croissance économique et productivité

À la section précédente, nous avons souligné le lien étroit qui existe entre les émissions CO_2 et la consommation d'énergie. Dans la présente section, nous tâchons de déterminer dans quelle mesure le rapport de l'utilisation de CO_2 à la consommation d'énergie $\frac{B}{E}$ (B représente les sous-produits nocifs, soit, dans notre contexte, les émissions de CO_2), ainsi que l'intensité énergétique de la production $\frac{E}{Y}$ (E,Y représentent, respectivement, la consommation d'énergie réelle et la production brute réelle), contribue à l'accroissement du ratio entre les émissions CO_2 et la production $\frac{B}{Y}$ (voir annexe).

Selon le cadre proposé, la variation de $\frac{B}{Y}$, l'intensité de la production en carbone, peut tenir à différents facteurs qui peuvent être regroupés en deux éléments clés, soit $\frac{B}{E}$ et $\frac{E}{Y}$. Le deuxième élément peut être ensuite décomposé en deux sous-éléments, soit l'énergie par unité de tous les intrants combinés $\frac{E}{Z}$ et le ratio de tous les intrants par unité de production $\frac{Z}{Y}$, soit l'inverse de la productivité multifactorielle

$$\frac{B}{Y} = \frac{B}{E} \times \frac{E}{Z} \times \frac{Z}{Y}. \qquad (1)$$

Le ratio $\frac{B}{Y}$ saisit la relation entre les émissions de CO_2 et la croissance économique. Il peut aussi servir à vérifier la validité de la « courbe environnementale de Kuznets » au niveau industriel[5]. La courbe environnementale de Kuznets suggère qu'il existe une relation en U inversé entre divers indicateurs de la dégradation environnementale et le revenu[6]. Elle laisserait donc supposer que la croissance économique peut remédier ultérieurement aux répercussions environnementales des étapes initiales du développement économique et que la croissance mènera à d'autres améliorations sur le plan environnemental. Loin de constituer une menace à l'environnement à long terme, comme l'ont affirmé entre autres Meadows et coll. (1972, 1992) dans *The Limits to Growth* et *Beyond the Limits*, la croissance économique est nécessaire au maintien ou à l'amélioration de la qualité de l'environnement. C'est là une partie essentielle de l'argument en faveur du développement durable avancé dans *Notre avenir à tous* par la WCED (1987). Dans les ouvrages publiés sur la courbe de Kuznets, les chercheurs ont examiné des données empiriques pour évaluer ce dernier point de vue.

Le thème de la courbe environnementale de Kuznets a été repris dans le *Rapport sur le développement dans le monde de 1992* de la Banque mondiale (IBRD 1992). Les auteurs ont signalé que : « Le point de vue selon lequel l'accroissement de l'activité économique est inévitablement néfaste à l'environnement est fondé sur des hypothèses statiques au sujet de la technologie, des goûts et des investissements environnementaux » (p. 38), et qu'« à mesure que les revenus augmentent, la demande d'amélioration de la qualité de l'environnement augmentera également, de même que les ressources financières disponibles » (p.39). D'aucuns se sont montrés encore plus catégoriques : « il y a des preuves manifestes que, si la croissance économie mène généralement à la dégradation de l'environnement aux étapes initiales du processus, en fin de compte le meilleur — et probablement le seul — moyen pour la plupart des pays d'assurer la salubrité de leur environnement est de devenir riches » (Beckerman 1992).

L'équation (1) laisse supposer que l'intensité de la production en carbone $\frac{B}{Y}$ peut changer à cause d'améliorations sur le plan de la technologie, d'une modification de la composition de la production ou de changements dans l'ensemble des intrants. Il importe de distinguer entre ces deux derniers effets.

Au cours de la période allant de 1981 à 1996, le rapport $\frac{B}{Y}$ a diminué en moyenne de 0,9 % par an (l'énergie et la production sont mesurées en prix constants) (figure 3). Le terme $\frac{B}{E}$, qui montre les effets de la variation dans la composition des formes d'énergie consommées sur les émissions de carbone, a augmenté au cours de la même période de près de 0,81 % en moyenne. Le deuxième facteur qui peut aider à expliquer l'évolution du ratio $\frac{B}{Y}$ est l'intensité énergétique de la production $\frac{E}{Y}$, qui indique la mesure avec laquelle une entreprise utilise l'énergie efficacement.

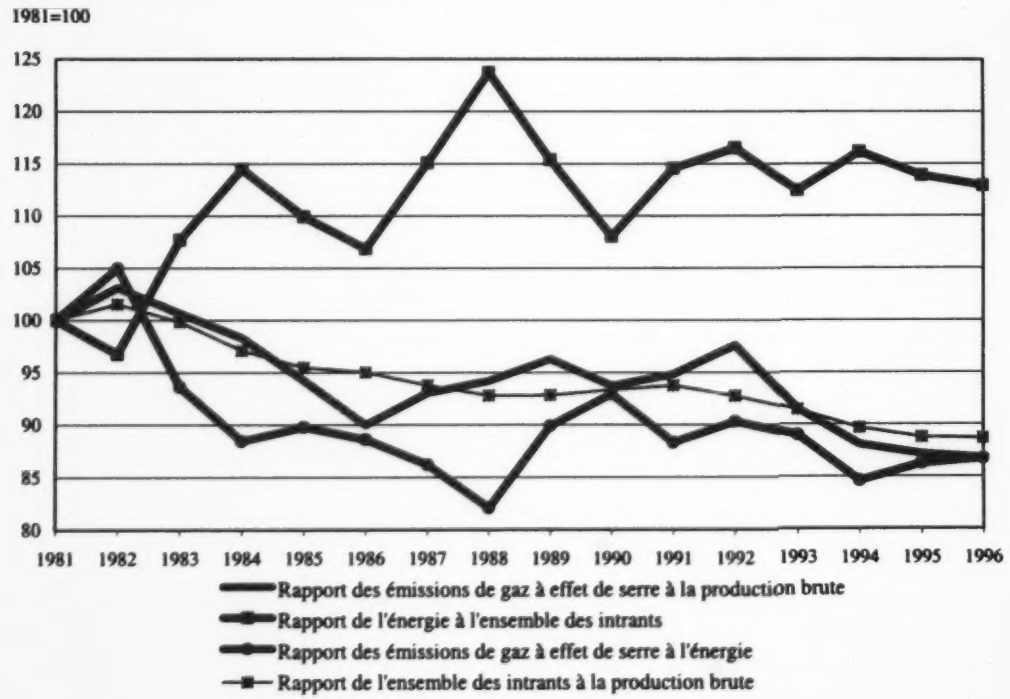
---

[5] Kuznets (1955, 1963) a effectivement examiné la relation entre le degré de l'inégalité dur revenu et le niveau du revenu.

[6] On trouvera dans Grossman et Krueger (1995) une étude innovatrice de l'estimation de la courbe environnementale de Kuznets et de ses répercussions à l'échelle mondiale.

La croissance économique peut contribuer en soi à réduire les émissions, notamment par l'entremise de l'évolution de la composition de l'activité économique, par exemple la réorientation de l'activité fondée sur des ressources naturelles vers la fabrication et, subséquemment, vers les services. La croissance économique peut aussi procurer des avantages environnementaux grâce à l'élaboration et à l'adoption d'une nouvelle technologie qui peut améliorer l'efficacité énergétique et aboutir à l'adoption de méthodes de production plus « propres ». Au cours de la même période, les entreprises canadiennes ont enregistré une baisse du rapport de l'énergie à la production $\frac{E}{Y}$ de 1,74 % en moyenne. Cette tendance à la baisse est attribuable à la plus faible intensité énergétique de tous les intrants $\frac{E}{Z}$ (-0,95 %) et à la plus faible intensité des intrants en termes de la production des intrants au $\frac{Z}{Y}$, soit l'inverse de la productivité multifactorielle (-0,80 %).

Figure 3. Intensité en carbone de la production et ses sources de croissance



Nota : L'intensité en carbone est le rapport des émissions de gaz à effet de serre à la production réelle

IV. Mesurer la croissance de la productivité multifactorielle en présence d'un sous-produit nocif

1. Cadre

Le cadre conventionnel d'estimation de la productivité qui est utilisé pour mesurer la productivité du secteur des entreprises fait abstraction de toute une catégorie de produits moins désirables, soit ceux qui sont des nuisances pour la société et, par conséquent, invendables. On obtient alors un indicateur incomplet de l'efficacité.

Dans la présente section, nous tâchons de tenir compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel de la croissance de la productivité multifactorielle PMF établie comme suit :

$$\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} - \left[s_K \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + s_L \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} + s_E \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} + s_M \frac{\dot{M}(t)}{M(t)} + s_S \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} \right], \tag{2}$$

où $Y(t)$, $K(t)$, $L(t)$, $M(t)$, $E(t)$ et $S(t)$ représentent, respectivement, les intrants, capital, travail, matières, énergie et services. Le symbole « $\cdot$ » sur chaque variable représente les taux de variation au fil du temps. En d'autres termes, la variation du taux de productivité est définie comme étant la différence entre le taux de croissance de l'indice de la production et le taux de croissance de l'indice des intrants. L'indice des intrants est établi en pondérant chaque intrant par la variation proportionnelle de la production qui résulte d'un petit changement dans l'intrant seul (techniquement, l'élasticité de la production). Ces facteurs de pondération sont représentés par s_i $(i = K, L, E, M, S)$. Dans des conditions de concurrence parfaite sur les marchés des intrants et les marchés des produits et de rendements d'échelle constants, ces facteurs de pondération sont égaux aux parts des coûts totaux attribuables aux intrants individuels et, par conséquent, leur somme est égale à l'unité.

La méthode conventionnelle utilisée pour établir l'indice de la productivité multifactorielle peut être étendue d'une manière simple pour tenir compte des dommages causés à l'environnement par les émissions de gaz à effet de serre. Puisque les émissions sont des produits joints des procédés industriels, on peut les inclure dans l'indice des produits en leur appliquant un facteur de pondération en fonction de leurs coûts marginaux.

On peut intégrer les résidus environnementaux au cadre en définissant la production totale, Q, comme étant l'agrégat des produits commercialisés, Y, et des émissions, B. La production totale affiche un taux de croissance égal à :

$$\frac{\dot{Q}(t)}{Q(t)} = s_Y \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} + s_B \frac{\dot{B}(t)}{B(t)}. \tag{3}$$

Selon cette formule, le taux de variation de la production totale est égal à la moyenne pondérée de la croissance de la production et de la croissance des émissions. Les facteurs de pondération sont égaux aux parts de la production et des émissions dans la valeur totale de la production. Bien entendu, comme les émissions sont nocives, elles ont une valeur négative au lieu de positive; on peut donc s'attendre à des prix fictifs négatifs. Sur le plan qualitatif, leur incidence sur la productivité est la même que celle des coûts des intrants.

Si l'on définit PMF' comme étant l'indice de productivité pour la fonction de production conjointe, Q, alors le taux de croissance de PMF' est :

$$s_Y \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} + s_B \frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \left[s_K \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + s_L \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} + s_E \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} + s_M \frac{\dot{M}(t)}{M(t)} + s_S \frac{\dot{S}(t)}{S(t)} \right]. \tag{4}$$

Lorsqu'on compare les équations (2) et (4), on obtient :

$$PMF + s_B \left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} \right] \tag{5}$$

où :

s_B = le poids des émissions dans la production totale;
$\dot{B}$ = la variation des émissions;
B = le niveau des émissions;
$\dot{Y}$ = la variation de la production commercialisée;
Y = le niveau de la production commercialisée.

L'équation (5) ressemble à la mesure de la productivité totale des ressources proposée par Gollop et Swinand (2001). Cette mesure est égale à la croissance de la production commercialisable dans une branche d'activité, moins la croissance des intrants pondérés en fonction de leur part des coûts (capital, travail et matières), plus la croissance pondérée de la qualité environnementale du produit. De même, notre cadre montre comment la mesure conventionnelle de la productivité (2) et la mesure proposée rajustée pour tenir compte des effets environnementaux (5) sont reliées. Comme s_B est négatif, si les émissions augmentent plus lentement que la production, le nouvel indice de la productivité augmentera plus rapidement que l'indice conventionnel. En outre, si la production augmente ou demeure constante, toute baisse des émissions aboutira à un taux de croissance de la productivité plus rapide que celui mesuré par l'indice conventionnel. Si les émissions augmentent plus rapidement que les produits commercialisés, toutefois, l'indice conventionnel surestimera le taux de croissance de la productivité.

Ainsi, la méthode révisée tient compte d'une source de croissance de la productivité qui échappe à la méthode conventionnelle : une croissance plus rapide de la valeur de la production totale attribuable à l'augmentation des produits commercialisables qui revêtent une grande valeur et à la diminution des déchets auxquels on attribue une valeur négative. Sans aucun doute, il s'agit

d'un gain sur le plan de l'efficacité aussi valide et peut-être important que tout autre. Dans certaines branches d'activité, comme nous le montrons dans les sections qui suivent, il a contribué de façon importante à améliorer la productivité.

2. *Questions de mesure*

Pour calculer la nouvelle mesure de la productivité, il faut estimer s_B, la part des émissions dans la production brute totale. Pour calculer cette part, il faut estimer le prix implicite des émissions. Ceci est calculé ici comme la dérivée du coût total privé de production par rapport aux émissions. La spécification qui suit de la fonction de coût a est estimée : $G(Y,B,w,D,t)$ est un coût total privé, où Y est le produit; B est le sous-produit nocif ou les émissions; w est un vecteur des prix des intrants (travail, L; capital, K; énergie, E; matières et services, M); D est un vecteur de variables binaires qui correspondent aux effets fixes pour chaque branche d'activité, et t est une tendance. Pour que cette fonction de coût soit cohérente avec le cadre conventionnel de la productivité, l'hypothèse de rendements constants a été imposée sur la procédure d'estimation.[7]

La variable B est incluse dans la fonction de coût parce que les sous-produits nocifs sont produits conjointement avec Y, ou, inversement, l'environnement est utilisé comme intrant par les producteurs lorsqu'ils libèrent des émissions dans l'atmosphère. La production des sous-produits nocifs permet de produire davantage de produits vendables ou non nocifs Y au moyen d'une combinaison donnée d'intrants achetés ou, comme autre possibilité, l'utilisation des émissions comme intrant permet de produire un volume donné de Y avec d'intrants achetés à un coût moindre.

Les variables fictives propres aux producteurs s_B associées aux sous-produits nocifs, c.-à-d. les économies au titre des coûts (des intrants) résultant du fait de permettre des émissions, peuvent être mesurées par les effets sur le plan des coûts $\frac{\partial lnTC}{\partial lnB} = s_B$ (TC indique le coût total privé de production). Ces valeurs fictives des émissions de gaz à effet de serre, mesurées par les effets sur le plan du coût $\frac{\partial lnTC}{\partial lnB} = s_B$, reflètent le montant marginal que le producteur supporte à mesure qu'il réduise B. Nous anticipons que $s_B < 0$. Dans notre cadre, s_B devrait donc être interprété comme la valeur privée des producteurs, puisqu'il représente le montant par lequel les dépenses au titre des intrants devraient être augmentées (à un niveau donné de production) pour réduire les émissions nocives pour l'environnement.

Nous avons mesuré les valeurs fictives des émissions de gaz à effet de serre et leur lien avec la demande d'autres intrants et d'autres composantes de la structure de production en nous fondant sur l'estimation d'une spécification translog de $G(Y,B,w,D,t)$. Nous avons effectué cette estimation en utilisant une base de données en panel produite par les programmes de la productivité et de l'environnement de Statistique Canada. Cette bases de données riche, qui renferme de l'information sur les intrants et extrants sur 37 branches d'activité pour la période

[7] Dans une étude reliée à celle-ci (voir Harchaoui et Lasserre, 2002), cette hypothèse n'a pas été imposée et l'impact de la prise en compte des gaz à effet de serre sur les estimations de la productivité a été légèrement plus élevé (21% comparativement à 17% tel qu'énoncé dans la présente étude).

1981-1996, couvre le secteur primaire, le secteur de la fabrication, le secteur des services non-financiers et les branches de services publics. Nous avons également construit les estimations pour ces secteurs prise dans leur ensemble par agrégation des données des industries en utilisant les parts des industries en termes de production pour refléter la composition industrielle et son changement au cours du temps.

3. *Résultats*

Les résultats, indiqués dans le tableau 1, montrent qu'il est important de prendre en compte les polluants (tout au moins les CO_2). Le facteur de correction, $s_B\left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right]$, n'est pas négligeable. Ce facteur comprend l'effet-prix et l'effet-quantité, qui peuvent ou non aller dans la même direction. On s'attend à ce l'effet-prix s_B soit négatif. Dans le cas de quatre des cinq grands secteurs examinés aux fins de la présente étude (industries primaires, fabrication, transports, services publics et autres branches d'activité), qui représentent l'essentiel des émissions de gaz à effet de serre, le prix implicite de ces émissions, tel qu'attendu, est négatif, bien qu'il ne soit pas significatif dans le cas des secteurs des transports et de la fabrication. Le secteur des services publics, autre producteur important d'émissions de gaz à effet de serre, est le seul qui affiche un prix implicite positif et significatif[8]. L'estimation du prix implicite de -0,14 établi pour le secteur des entreprises comme moyenne pondérée des différentes branches est aussi statistiquement significatif (au niveau de 5 %). Le secteur primaire affiche la valeur la plus élevée (en termes absolus) du prix implicite (-0,89 est significatif à un niveau inférieur à 1 %), suivi de loin par un groupe d'autres branches d'activité composées de l'industrie de la construction, des branches du commerce, des communications et de l'entreposage (-0,03 est significatif au niveau de 5 %).

Tableau 1 : Productivité avec et sans sous-produits nocifs, de 1981 à 1996

	$\dot{Y}$	s_Y	statistique t pour s_Y	$\dot{B}$	s_B	statistique t pour s_B	PMF	PMF'
Secteur primaire	2,61	1,13	7,70	2,70	-0,89	3,44	1,60	1,52
Fabrication	3,22	0,99	16,01	0,23	-0,03	1,39	0,68	0,78
Transports	2,75	0,97	7,89	3,82	-0,03	0,73	1,13	1,10
Services publics	2,66	0,94	9,15	2,10	0,17	5,32	0,11	0,01
Autre	2,71	1,06	21,77	1,70	-0,03	1,93	0,55	0,57
Secteur des entreprises	2,95	1,03	16,01	1,98	-0,14	2,80	0,77	0,90

Nota : $\dot{Y}$ = le taux de croissance annuel moyen des produits non nocifs; $\dot{B}$ = le taux de croissance annuel moyen des sous-produits nocifs; s_Y et s_B représentent, respectivement, les prix fictifs des produits non nocifs et des sous-produits nocifs calculés par estimation de la fonction de coût à long terme; PMF = le taux de croissance de la productivité multifactorielle selon le cadre conventionnel (fondée seulement sur les produits non nocifs); PMF' = le taux de croissance de la productivité multifactorielle selon l e cadre de rechange (fondée sur les produits non nocifs et les sous-produits nocifs). Ces estimations sectorielles sont obtenues par agrégation des estimations de 37 branches d'activité en utilisant l'indice en chaîne de Fisher où les pondérations sont définies en termes de production brute nominale.

[8] Cette aberration s'explique probablement par le fait que le secteur des services publics est réglementé, caractéristique dont ne tient pas compte notre fonction de coût actuelle. Toutefois, l'exclusion du secteur des services publics de notre base de données ne modifie pas nos estimations agrégées de productivité de façon significative.

L'effet quantité $\left[\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} - \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right]$, mesuré par l'écart entre le taux de croissance annuelle moyen des produits non nocifs et des sous-produits nocifs durant la période de 1981 à 1996, peut être soit positif, soit négatif. L'écart de -0,98 point affiché par le secteur des entreprises est attribuable principalement au secteur de la fabrication (-2,98 points), suivi des autres branches d'activité (-1,06 point) et des services publics (-0,56 point). Par contre, l'industrie des transports et le secteur primaire sont les seuls secteurs qui affichent un effet positif sur les quantités (de 1,07 et de 0,09 point, respectivement).

La combinaison d'effets négatifs sur les prix et sur les quantités pour un secteur peut avoir des répercussions positives sur la croissance de la productivité. C'est le cas tout particulièrement du secteur de la fabrication (et, dans une moindre mesure, d'autres branches d'activité) où le taux de croissance annuel moyen de la productivité multifactorielle au cours de la période 1981 à 1996 est maintenant de 0,78 %, comparativement à 0,68 % selon le cadre conventionnel, une hausse de 15 %. Dans d'autres cas où l'effet-quantité est positif, comme celui du secteur primaire, le taux moyen de croissance de la productivité a chuté — 1,52 %, soit une baisse par rapport au taux de 1,60 % lorsque les émissions de gaz à effet de serre sont exclues. Dans l'ensemble, toutefois, nos résultats montrent que le fait de ne pas prendre en compte les émissions donne lieu à une sous-estimation de la productivité du secteur des entreprises de 0,13 point pour la période de 1981 à 1996, une différence de 17 %.

Bien qu'elle soit fondée sur une approche différente appliquée à un problème environnemental différent, notre conclusion est semblable à celle de Gollop et Swinand (2001). Selon leurs résultats, la productivité totale des ressources a augmenté plus rapidement que la mesure conventionnelle de productivité totale des facteurs au cours de toutes les périodes sauf celle allant de 1972 à 1979. Selon Gollop et Swinand (2001), la croissance rapide de la productivité totale des ressources est attribuable à la diminution de la pollution de l'eau résultant de l'utilisation de pesticides depuis 1979. Ce résultat est assez semblable à notre conclusion selon laquelle il existe un écart négatif entre le taux de croissance des sous-produits nocifs et celui des produits non nocifs.

V. Conclusion

Cette étude a montré que les polluants peuvent être pris en compte dans les indicateurs de performance de productivité moyennant des changements mineurs au cadre conventionnel de la productivité multifactorielle. Pour en arriver là, plusieurs obstacles ont du être surmontés.

Le premier défi est celui d'obtenir des prix implicites acceptables, fiables qui peuvent être associés aux émissions. Les déchets rejetés dans l'environnement, contrairement aux produits commercialisés, ne sont pas échangés sur le marché et, par conséquent, n'ont pas de valeur marchande. Comme l'a fait remarquer Schelling (1992), « les pires choses dans la vie sont gratuites ».

Incontestablement, le fait que les émissions n'aient pas de valeur marchande rend plus difficile — mais non impossible — d'estimer leur coût différentiel pour l'économie. Mais

comme nous l'avons montré dans cette étude, ceci n'est pas impossible. Quoiqu'il en soit, on doit reconnaître que les estimations rapportées ici ne sont que des estimations. Elles écoulent de l'estimation d'une fonction de coût qui rarement rend compte de l'ensemble de la complexité du processus industriel. La validité de ces estimations dépend aussi des autres facteurs, tels la fiabilité des techniques statistiques et de la précision des données utilisées. Bien que nous ayons employé les meilleures données disponibles et les techniques les plus au point, nous ne pouvons affirmer de façon définitive que les estimations des prix fictifs sont aussi précises que nous l'aurions souhaité.

Le second défi qui empêche d'avoir des comptes de productivité plus complet est le développement d'une base de données complète sur les polluants en utilisant le cadre des tableaux entrées-sorties. Pour établir et tenir à jour des données révisées sur la croissance de la productivité, il faut disposer d'une base d'information adéquate. Statistique Canada a fait d'énormes progrès pour ce qui est d'élaborer des bases de données environnementales, de les utiliser aux fins d'analyse économique et de les mettre à la disposition du public. La présente étude constitue un premier pas dans l'utilisation d'une méthode expérimentale pour prendre en compte l'incidence des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité. Accessoirement, il établit le prix fictif de ces émissions, qui montre le coût privé supporté par les entreprises à mesure qu'elles ont réduit les émissions de CO_2. Des estimations crédibles des prix environnementaux implicites peuvent être utiles non seulement pour mesurer la productivité, mais pour établir des priorités aux fins de politiques environnementales et de l'analyse des règlements ainsi qu'à d'autres fins.

Les entreprises s'intéressent vivement aux données sur leur productivité, et celles qui mènent des activités dans des secteurs sensibles à l'environnement cherchent des mesures de performance et des indicateurs susceptibles de refléter adéquatement leurs progrès vers l'éco-efficacité. La méthode exposée ici peut être facilement adaptée à cette fin. Elle permet de mesurer les gains d'efficacité attribuables à l'utilisation des intrants conventionnels, soit le capital et le travail, ainsi que les matières premières et les intrants intermédiaires. En outre, elle permet de mesurer les progrès réalisés sur le plan de la réduction des émissions et des effluents. Il faudrait établir des estimations des coûts liés aux dommages à l'environnement pour les différents sites des entreprises et selon la composition des flux de déchets de chacune. Les gestionnaires de l'environnement disposeraient alors de renseignements utiles aux fins de l'établissement des priorités. Les entreprises dont les pratiques sont respectueuses de l'environnement et qui entreprennent de faire le suivi de leurs propres améliorations sur le plan de la productivité au moyen de cette méthode de base seront mieux en mesure d'intégrer leurs pratiques de gestion de l'environnement et leurs pratiques de gestion des activités.

Annexe

Production par unité de gaz à effet de serre, taux de croissance annuel moyen (pourcentage)

	1981-1996	1981-1988	1988-1996
Agricoles et de services connexes	3,2	-0,9	6,9
Pêche et du piégeage	1,7	5,2	-1,3
Exploitation forestière et foresterie	0,3	2,8	-1,9
Mines	2,3	4,1	0,7
Pétrole brut et du gaz naturel	-0,5	-3,3	2,1
Carrières et sablières	2,0	8,9	-3,6
Services miniers	6,0	3,8	8,0
Aliments	1,0	0,7	1,3
Boissons	4,0	5,6	2,7
Tabac	1,3	0,7	1,8
Produits en caoutchouc	6,2	3,0	9,1
Produits en matière plastique	3,2	1,0	5,1
Cuir et des produits connexes	0,6	-1,2	2,1
Textiles de première transformation	4,7	7,8	2,1
Produits textiles	-1,0	-5,6	3,3
Habillement	3,7	-2,4	9,4
Bois	0,9	5,0	-2,6
Meuble et articles d'ameublement	0,1	-3,4	3,3
Papier et produits connexes	2,7	7,6	-1,4
Imprimerie, édition et connexes	-2,1	-4,6	0,2
Première transformation des métaux	2,8	2,7	2,9
Fabrication des produits métalliques	-0,4	-2,5	1,5
Machinerie (sauf électrique)	1,8	-1,9	5,1
Matériel de transport	4,3	2,7	5,7
Produits électriques et électroniques	11,7	8,1	14,9
Produits minéraux non métalliques	-0,2	2,0	-2,0
Produits raffinés du pétrole et du charbon	-1,4	-1,9	-1,0
Chimiques	2,0	1,4	2,5
Autres activités de fabrication	2,7	-2,3	7,3
Construction	1,0	4,8	-2,2
Transport	-0,0	0,9	-0,8
Transport par pipelines	-1,8	-1,4	-2,2
Entreposage et de l'emmagasinage	2,9	-4,1	9,5
Communications	-0,7	5,6	-5,9
Autres de services publics	0,6	-0,9	1,8
Commerce de gros	2,1	7,7	-2,7
Commerce de détail	1,6	4,9	-1,2
Finances et services immobilières	0,8	-0,3	1,8
Assurances	4,8	10,2	0,3
Services aux entreprises	5,0	2,6	7,1
Services d'enseignement	2,7	-3,3	8,3
Services de soins de santé et des services sociaux	3,4	3,7	3,1
Hébergement et de la restauration	5,2	5,0	5,5
Services de divertissements et loisirs	-2,2	3,5	-7,0
Services personnels et domestiques	5,1	5,0	5,1
Autres services	0,4	1,7	-0,8
Secteur commercial (moyenne pondérée)	1,9	2,3	2,0

Bibliographie

Beckerman, W. 1992. « Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment? » *World Development* 20: 481-96.

Gollop, F. et G. Swinand. 2001. « Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality, » in E. Dean, M. Harper and C. Hulten, (eds.); *New Directions in Productivity Analysis*, Conference on Research in Income and Wealth.

Grossman, G.M. et A.B. Krueger 1995. « Economic Growth and the Environment. » *Quarterly Journal of Economics* 112: 353-378.

Gu, W., M Kaci, J.-P. Maynard et M-A. Sillamaa. 2002 « *Changement de la composition de la population active canadienne et son influence sur la croissance de la productivité* », dans Baldwin, J.R. et T .M. Harchaoui: *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, N°. 15-204-XPF au catalogue. À paraître.

Harchaoui, T.M. et P. Lasserre. 2002. « L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996, une approche expérimentale. » *Analyse économique Document de recherche N°. 9*. Ottawa: Statistique Canada.

Harchaoui, T.M., M. Kaci et J.-P. Maynard. 2001. « Le programme de productivité de Statistique Canada : Concepts et méthodes, dans Baldwin, J.R. *et coll.*: *Croissance de la productivité au Canada*, pp. 149-185, Statistique Canada, N°. 15-204-XPF au catalogue.

Harchaoui, T.M. et F. Tarkhani.2002; « Révision complète de la méthode d'estimation du facteur capital pour le Programme de la productivité multifactorielle de Statistique Canada. » dans Baldwin, J.R. et T .M. Harchaoui: *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, N°. 15-204-XPF au catalogue. À paraître.

IBRD, *World Development Report 1992: Development and the Environment* New York, Oxford University Press, 1992.

Kuznets, S. 1955. « Economic Growth and Income Inequality. » *American Economic Review* 49: 1-28.

Kuznets, S. 1963. « Quantitative Aspects of the Economic Growth of Nations, VIII: The Distribution of Income by Size. » *Economic Development and Cultural Change*: 11, 1-92.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers 1992; *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*, Earthscan, London.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers, et W. Behrens (1972); *The Limits to Growth*, Universe Books, New York.

Schelling, T.C. (1992). « Some Economics of Global Warming. » *American Economic Review* 82: 1-14.

WCED (1987). *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford.

ANALYSE ÉCONOMIQUE
DOCUMENTS DE RECHERCHE

No.001 *Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson et Faouzi Tarkhani*** *(1 mars 2002)*

No.002 *Parité de pouvoir d'achat : Le cas du Canada et des États-Unis,* ***Beiling Yan*** *(mai 2002)*

No.003 *L'importance accrue des producteurs plus petits dans le secteur de la fabrication : Comparison Canada/Etats-Unis,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin et Jianmin Tang*** *(mai 2002)*

No.004 *Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – 1999 : La livraison des biens et des services sur les marchés internationaux,* ***Colleen Cardillo*** *(avril 2002)*

No.005 *Volatilité de l'emploi au niveau régional dans le secteur canadien de la fabrication : Les effets de la spécialisation et du commerce,* ***John R.Baldwin et W.Mark Brown*** *(à venir)*

No.006 *Antécédents de croissance, degré de concentration des connaissances et structure financière des petites entreprises,* ***Guy Gellatly, Allan Riding, Stewart Thornhill*** *(à venir)*

No.007 *Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité,* ***Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan, Rob Smith*** *(November 1, 2002)*

No.008 *Vaincre les distances, vaincre les frontières : comparaison des échanges régionaux en Amérique du Nord,* ***W.Mark Brown*** *(à venir)*

No.009 *L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale,* ***Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre*** *(November 1, 2002)*